GRUNDLAGENSTUDIEN

AUS KYBERNETIK UND GEISTESWISSENSCHAFT

JAHRGANG 2 NUMMER 1 MÄRZ 1961

INHALT

POSTVERLAGSORT

STUTTGART

Die "GRUNDLAGENSTUDIEN aus Kybernetik und Geisteswissenschaft" erscheinen in einem Umfang von je 48 bis 32 Seiten im Abstand von zwei bis drei Monaten. Sie werden als Mitteilungsblätter der Stuttgarter Arbeitsgruppe für Kommunikationsforschung und Pädagogik herausgegeben von

Prof. Dr. Max Bense, Dr. Felix von Cube,
Dr. habil. Gerhard Eichhorn, Dr. Helmar Frank,
Dr. Gotthard Günther, Richmond, Va., USA
Dr. Dr. André Abraham Moles (Paris) und
Dr. Elisabeth Walther.

Postverlagsort ist Stuttgart. Preis des Einzelheftes DM 2.-- zuzüglich Porto. Für Abonnenten erfolgt Zustellung kostenlos bei halbjähriger Berechnung der Hefte.

Zuschriften und Anfragen redaktionellen Inhalts sind zu richten an die Redaktion (Dr. Eichhorn und Dr. Frank), Stuttgart, Huberstr. 16, Fragen vertriebstechnischer Art an R. Gunzenhäuser, Esslingen-Oberesslingen, Hirschlandstr. 64, (Postscheckkonto Stuttgart 126 175 (Grundlagenstudien)).

Artikel von mehr als 12 Druckseiten Umfang können in der Regel nicht angenommen werden. Unverlangte Manuskripte können nur zurückgesandt werden, wenn Rückporto beiliegt.

Die verwendete Literatur ist, nach Autorennamen alphabetisch (verschiedene Werke desselben Autors chronologisch) geordnet, in einem Schrifttumsverzeichnis am Schluß des Beitrags zusammenzustellen. Die Vornamen der Autoren sind mindestens abgekürzt zu nennen. Bei selbständigen Veröffentlichungen sind Titel, Erscheinungsort und -jahr, womöglich auch Verlag, anzugeben. Zeitschriftenbeiträge werden vermerkt durch Name der Zeitschrift, Band, Seite (z.B. S.317-324) und Jahr, in dieser Reihenfolge. (Titel der Arbeit kann angeführt werden). Im selben Jahr erschienene Arbeiten desselben Autors werden durch den Zusatz "a", "b" etc. ausgezeichnet. Im Text soll grundsätzlich durch Nennung des Autorennamens und des Erscheinungsjahrs des zitierten Werks (evtl. mit dem Zusatz "a" etc.), in der Regel aber nicht durch Anführung des ganzen Buchtitels zitiert werden. Wo es sinnvoll ist, sollte bei selbständigen Veröffentlichungen und längeren Zeitschriftenartikeln auch Seitenzahl oder Paragraph genannt werden. Anmerkungen sind zu vermeiden.

Druck: K. Mayer KG., Stuttgart, Friedrichstr. 45 - z.Zt. verantwortlich:
Dr. Eichhorn

Ansätze einer allgemeinen Zeichen- und Kommunikationstheorie bei Francis Bacon.

Von Gerald Eberlein, Stuttgart.

Es mag überraschen, daß hier - vermutlich zum erstenmal - Bacon im Zusammenhang mit der Kommunikations- und Zeichentheorie genannt wird. Daß dieser Zusammenhang bisher nicht gesehen wurde, beruht vielleicht darauf, daß das Gesamtwerk lateinisch 1665 und 1857 bis 73 zum ersten und einzigen Male in englischer Sprache erschien; die ebenfalls einzige englische Auswahl seiner philosophischen Werke 19o5. Eine deutsche Gesamtausgabe hat es nie gegeben. Selbst seine philosophischen Werke wurden nie ganz übersetzt und die Übersetzungen (Neues Organum, 187o und "Von der Würde und Vermehrung der Wissenschaften" 1783) sind heute nicht mehr erreichbar. Wir mußten daher alle Zitate neu übersetzen.

Wir heben im folgenden jene Teile des Baconschen Werkes hervor, die uns als unmittelbare Ansätze der Kommunikations- und Zeichentheorie erscheinen.

Als Vorarbeit zum "Novum Organum" erschien erstmalig 16o5 "Von Nutzen und Vermehrung der menschlichen und göttlichen Wissenschaften", das in ungleich ausführlicherer Fassung 1621/22 als "De dignitate et augmentis scientiarum" (im folgenden De augm. zitiert) 1623 lateinisch veröffentlicht wurde. "Von der Würde und der Vermehrung der Wissenschaften" stellt im englischen Sprachbereich eine bedeutende wissenschaftstheoretische Leistung jenes gerade anbrechenden Zeitalters der strengen Erfahrungsmethode dar. Es gibt einen Überblick über den Stand der damals bekannten Wissenschaften, ihre Mängel und Möglichkeiten. Wir würden ihm heute vielleicht den Titel geben: "Ergebnisse und Probleme der Wissenschaften".

Uns interessiert davon hauptsächlich das 6. Buch, betitelt "The Art of Transmitting", das sich mit der "Kunst des Übertragens oder des Produzierens oder Ausdrückens der Dinge" beschäftigt, "die erfunden, beurteilt und im Gedächtnis abgelegt sind; ich will sie allgemein als Kunst der Übertragung(Art of Transmission) bezeichnen". Schon vor hundert Jahren führt der Herausgeber von Bacons englischem Gesamtwerk den dafür heute gebräuchlichen Ausdruck ein. Er bemerkt: "Which appears to be used in the general sense of communication" (De augm. S. 121). "Diese Kunst schließt alle Techniken ein, die sich auf Wort und Reden beziehen." (De augm. S. 521).

Bacon unterteilt die "Kommunikations-Technik" ("art" hat bei ihm durchaus die Bedeutung von Technik, nicht von Kunst im musischen Sinne) in die Lehre vom Organ der Rede (Doctrine concerning the Organ of Discourse, 1. Kapitel), die Lehre von der Methode der Rede (Method of Discourse, 2. Kapitel) sowie der Lehre von der Illustration oder Ausschmückung der Rede im 3. Kapitel (alle De augm. S. 521). Es sei vorwegnehmend bemerkt, daß es sich nur bei der letzterwähnten Lehre um Rhetorik im heutigen Sinne handelt, nicht jedoch bei den beiden erstgenannten, die uns allein interessieren.

Bacons Lehre vom Organ der Rede stellt die Grammatik dar, die in einen das Sprechen und einen das Schreiben betreffenden Teil zerfällt. Bevor diese behandelt werden - auch hier möchten wir vorgreifend bemerken, daß es sich nicht nur um die heute übliche philologische Grammatik handelt - bringt unser Autor einen neuen Ansatz. Er spricht vom Kommunikationsorgan im allgemeinen (Organ of Transmission in general): "Denn es scheint, daß die Kommunikationstechnik einige andere Kinder außer Wörtern und Buchstaben hat. Dies also kann als Regel formuliert werden: Was immer in Unterschiede aufgeteilt werden kann, die genügend zahlreich sind, um die vielfältige Verschiedenheit der Begriffe darzulegen (sofern diese Unterschiede für die Sinnewahrnehmbar sind) kann zum Vehikel für die Kommunikation der Gedanken eines Menschen zu einem anderen gemacht werden" (De augm. S. 521).

Auf diese anderen Kinder der Kommunikations-Kunst oder Technik kommt Bacon dann näher zu sprechen: "Die Zeichen der Dinge, die eine Bedeutung ohne Hilfe oder Intervention von Worten tragen, sind von zweierlei Art: eine ex congruo, wo das Zeichen irgendwelche Übereinstimmung mit dem Begriff hat, die andere ad placitum, wo es eingeführt und nach Belieben vereinbart wird. Von der ersten Art sind Hieroglyphen und Gesten; von der letzteren die Realcharaktere, die weder Buchstaben noch Worte, sondern Dinge und Begriffe darstellen." Er erwähnt, daß Nationen verschiedener Sprache bei Vereinbarung solcher Charaktere miteinander schriftliche Kommunikation haben. Man denkt hier unwillkürlich an Freges Begriffsschrift, an die Flaggensignalsprache u.a. heute.

Zu den Hieroglyphen, für welche Bacon natürlich die ägyptische Schrift als Beispiel wählt, macht er die (für die Ästhetik der Mime und Pantomime interessante) Anmerkung: "Gesten sind wie vergängliche Hieroglyphen", und fährt fort: "Es ist nun klar, daß Hieroglyphen und Gesten immer einige Ähnlichkeiten mit dem bezeichneten Ding haben, und eine Art Sinnbild sind. Daher habe ich sie 'Zeichen von Dingen durch Kongruität' genannt." (De augm. S. 522 f.)

"Realcharaktere andererseits haben nichts Sinnbildliches, sondern sind zunächst bedeutungsfrei (surds), ebenso wie die Buchstabenelemente selbst; werden nach Belieben geschaffen und sind stillschweigend durch Gebrauch vereinbart." Er

schließt - es handelt sich ja immer um eine Bestandsaufnahme!: "Diesen Teil der Lehre des Organs der Rede, der sich auf die Zeichen der Dinge bezieht, stelle ich als fehlend fest." Doch fügt er hinzu: "Obgleich es nicht von großem Nutzen zu sein scheint, da Wörter- und Buchstabenschrift bei weitem die gebräuchlichsten Kommunikationsorgane sind, hielt ich es doch für gut, diese Dinge hier zu erwähnen, als der Überlegung nicht unwürdig. Denn da wir hier sozusagen die umlaufende Münzwährung geistiger Dinge behandeln, ist es nicht unnütz zu wissen, daß, wie Geld aus anderem Material als Gold und Silber bestehen kann, so auch andere Zeichen von Dingen neben Wörtern und Buchstaben geprägt werden können." (De augm. S. 523)

Ebenso umfangreich wie die grammatischen Abhandlungen sind jene über das Verschlüsseln und Entziffern von Texten. Wir erwähnten schon, daß Bacon die Gesten unter die Hieroglyphen subsumiert. Darin verrät sich eine Anknüpfung an die manieristische Hieroglyphik des Jesuiten Kircher (1663), der ebenfalls eine Code-Schrift entwickelte. Die Beschäftigung mit Symbolen, Buchstaben oder Schriften stand zu Bacons Zeiten in hoher Blüte.

Daß Bacons binäres Chiffre-System, das nun folgt, von Kontinentaleuropa angeregt wurde, geht einmal aus seiner Bemerkung hervor, er habe es in seiner Jugend in Paris entworfen. Außerdem haben Forschungen seines Kommentators Ellis erwiesen, daß Bacon höchstwahrscheinlich auf existierende, allerdings weit unvollkommenere, Vorbilder, wie Trittenheims "Polygraphia" (1508), vor allem aber auf Portas berühmtes "De occultis literarum notis" (1606) zurückgegriffen hat, bzw. diese ihm bekannt sein mußten. Er kennt jedenfalls viele Chiffriersysteme, die bis in die Gegenwart in Gebrauch sind, verlangt aber von einer vollkommenen Chiffre, daß "durch sie jedes beliebige Element durch jedes beliebige bezeichnet sein kann" (De augm. S. 527) - eine Forderung, die ein binäres System am einfachsten erfüllt. Sein Binäralphabet sieht so aus:

A	B	C	D	E	F	G	H
aaaaa	aaaab	aaaba	aaabb	aabaa	aabab	aabba	aabbb
I	K	L	M	N	O	P	Q
abaaa	abaab	ababa	ababb	abbaa	abbab	abbba	abbbb
R	S	T	V	W	X	Y	Z
baaaa	baaab	baaba	baabb	babaa	babab	babba	babbb

Die Technik der Binärkommunikation wird von Bacon in ihrer vollen Tragweite erkannt: "Auch ist es nichts Geringes, was so erreicht wird. Denn wir sehen daraus, wie Gedanken über jede Entfernung mitgeteilt (communicated) werden können mittels beliebiger für Auge oder Ohr wahrnehmbarer Gegenstände, sofern diese nur zwei Differenzen darstellen können; so etwa Glocken, Trompeten,

Fackeln, Schüsse u.ä." (De augm. S. 528). Schon der Herausgeber und Kommentator weist vor einem Jahrhundert darauf hin, daß der elektrische Telegraph ein bekanntes Beispiel dieses Systems sei, daß nämlich jegliche Anzahl von Dingen durch Kombinationen zweier Zeichen wie in der binären Zahlenreihe bezeichnet werden könne. (De augm. S. 527, Fußnote 16).

Die Briefchiffrierung geht nun so vor sich, daß die Geheimbotschaft im Binäralphabet verschlüsselt wird. FLY (fliehe) wird also zu

F	L	Y
aabab	ababa	babba

Jede vorkommende Fünfergruppe von a und b wird nun mit Hilfe eines weiteren Alphabetes ausgeschrieben, indem jeder Buchstabe in zwei verschiedenen Typen (bzw. handschriftliche Varianten) auftritt, wobei die eine Variante jeweils a, die andere b entspricht:

a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b
A	A	a	a	B	B	b	b	C	C	c	c
D	D	d	d	E	E	e	e	F	F	f	f
G	G	g	g	H	H	h	h	I	I	i	i
K	K	k	k	L	L	l	l	M	M	m	m
N	N	n	n	O	O	o	o	P	P	p	p
Q	Q	q	q	R	R	r	r	S	S	s	s
T	T	t	t	U	U	u	u	V	V	v	v
W	W	w	w	X	X	x	x	Y	Y	y	y
				Z	Z	z	z				

Unauffällig bleibt das System natürlich nur in Handschrift. Wir verwenden hier einfache Buchstaben als verschiedene Ausführungen des Binärzeichens A; unterstrichene Buchstaben vertreten übereinstimmend das Binärzeichen B.
Aus der Binärschreibweise

aa bab ab abab abba für FLY wird damit z.B.
Do not go till I com(e). (De augm. S. 628)

Das zweite Kapitel von Buch VI ist betitelt: "Die Lehre von der Methode der Rede". Bacon bemerkt gleich zu Beginn diese Methodik werde gewöhnlich als ein Teil der Logik behandelt, und finde auch in der Rhetorik einen Platz; das habe jedoch dazu geführt, dabei über vieles hinwegzugehen, was nützlich zu wissen

sei. Daher habe er "es für passend gehalten, die Lehre der Methode zu einer wesentlichen und prinzipiellen Lehre zu erheben, unter dem allgemeinen Namen Weisheit besser Praktik der Kommunikation (Wisdom of Transmission, De augm. S. 529).

Bacon weist zunächst auf die Auswahl der Kommunikationsmethode, nämlich den Unterschied zwischen der magistralen und der Initiationsmethode hin - eine heute noch oft vernachlässigte Unterscheidung zwischen der rein informierenden und derjenigen Wissenskommunikation, die es ermöglicht, Wissen durch Forschung zu erweitern und zu Fortschritten führt (De augm. S. 53o). Auch hier ist für Bacon wieder der Übergang von Mystik und Geheimlehre zur Rationalität kennzeichnend. Er bemerkt, daß er den Begriff Initiation sakralen Zeremonien entnommen habe, wendet ihn jedoch auf die Offenlegung der "Geheimnisse der Wissenschaften" an. Von dieser auf kritische Nachprüfung gerichteten Methode, die ihre Ergebnisse auf dem Wege mitteilen solle, auf dem sie gefunden wurden, habe nur die Methode der Mathematiker "eine Ahnung", sonst fehle sie aber.

Bacon unterscheidet eine Wissensübermittlung in Aphorismen und eine methodische systematische "Transmission". Erstere habendie Vorzüge, Erkenntnisse und Fähigkeiten des Autors gewissermaßen in nuce zu offenbaren, praktische Handlungsanweisungen zu geben, schließlich durch seinen unabgeschlossenen Charakter den Empfänger zu eigener Denkarbeit zu aktivieren, während die streng methodische Übermittlung zur sorglosen Hinnahme eines Gesamtsystmes als etwas Abgeschlossenen verleite. (De augm. S. 531)

Überhaupt wird die Adäquation der Kommunikationsmethode und des Gegenstandes, über den informiert wird, immer wieder betont, selbst eine operationale Definition des Begriff Präinformation taucht auf. Nach Bacon ist die Wissensübermittlung einzurichten "gemäß den Informationen (informations) und Antizipationen, die dem Geist des lernenden hinsichtlich des zu übermittelnden Wissens bereits eingeprägt ist. Denn neues, fremdartiges Wissen ist dem menschlichen Geist in anderer Form zu übermitteln als jenes, das den schon aufgenommenen Meinungen verwandt und vertraut ist". (De augm. S. 532) An dieser Stelle ist - wie überhaupt oft bei Bacon - die Ausdrucksweise völlig technisch und nimmt etwa mit Ausdrücken wie "taken in and received" (De augm. S. 532) geradezu heutige Termini wie "in-put", Empfang und so weiter vorweg. Bacon sieht sehr genau, daß die oben erwähnte prägnante Kurzinformation in Aphorismen bei der Mitteilung neuer, unvertrauter Sachverhalte unangebracht its. Bei Kommunikation von neuen Sachverhalten entsteht, wie er bemerkt, "doppelte Mühe; erstens sie dem Verständnis nahezubringen, und sie dann noch zu beweisen; sodaß man gezwungen ist, zu Ähnlichkeiten und Metaphern als Bedeutungsträgern (to convey their meaning) seine Zuflucht zu nehmen. "Das wird auch historisch nachgewiesen: "In der Kindheit der Wissenschaft, als all diese Begriffe, die jetzt alt und tri-

vial sind, neu und niemals gehört waren, war die Welt voll von Parabeln und Ähnlichkeiten". Bacon formuliert schließlich: "Denn es ist eine Regel der Kommunikationstheorie, daß alles Wissen, das nicht mit Antizipationen oder entsprechenden Voraussetzungen übereinstimmt, Unterstützung durch Ähnlichkeiten und Vergleiche suchen muß." (De augm. S. 532)

Bacon hat hier, modern formuliert, die Notwendigkeit nicht nur der Präinformation, sondern auch einer Minimalredundanz bei der Kommunikation gesehen oder zumindest vorausgeahnt.

Wir sind der Meinung, die erwähnten zeichen- und im weitesten Sinne kommunikationstheoretischen Ansätze bei Francis Bacon seien allein deswegen der Mitteilung wert, weil sie zeigen, wie eine konsequente Bearbeitung heute vernachlässigter Gebiete, wie Rhetorik und (allgemeiner) Grammatik, zu Gedanken führen kann, die uns heute von ganz anderen Disziplinen her als modern erscheinen.

L i t e r a t u r :

Anderson, F.H.:	Philosophy of Francis Bacon, U. of Chicago Press, 1948
Bacon, F.:	The Philosophical Works, ed. by J.M. Robertson, London, 19o5
Fiske, G.H.:	Studies in the biliteral cipher of F. Bacon, Luce 1913
Frost, W.:	Bacon und die Naturphilosophie, München 1927
Wallace, K.R.:	Francis Bacon on Communication and Rhetoric Chapel, Hill N.C., Oxford 1943

Eingegangen: 1.11. 1961

Über ein Verfahren der mechanischen Didaktik

von Felix v. Cube, Stuttgart

Die Untersuchung der Aufgabe, wie oft ein Text der Information I wiederholt werden muß, um vollständig ins Dauergedächtnis aufgenommen zu werden, führte uns (v. Cube, 196o d) auf die Formel

$$n = \frac{\log 1,8 - \log I}{\log (o,93)}$$

wobei I die subjektive Information des Textes bedeutet. Um eine quantitative Aussage zu machen, müssen die beiden folgenden Voraussetzungen erfüllt sein:

1) Der Text muß auf bekanntem "endlichem Schema" gelernt werden. Die subjektive Information muß also gleich der objektiven sein.
2) Der Text muß "ideal" sein, so daß kein unkontrollierbarer Anteil an Information auf die Erlernung von Häufigkeiten verwendet wird.

Im folgenden untersuchen wir das Problem, wie die subjektive Information eines Textes und damit auch die Anzahl der zu seinem Erlernen notwendigen Wiederholungen herabgesetzt werden kann. Dabei soll die Forderung nach Meßbarkeit der subjektiven Information aufrechterhalten werden. Eine Theorie, die sich mit solchen Verfahren zur Herabsetzung der subjektiven Information von Texten beschäftigt, nennen wir allgemein "Theorie der mechanischen Didaktik".

Ein spezielles Verfahren dieser mechanischen Didaktik liegt in der Methode, kleinere Textabschnitte zu "Wörtern" zusammenzufassen. Zunächst werden diese Wörter einzeln gelernt und dann zum Text zusammengesetzt. Die Frage ist nun, wie diese Zerlegung durchzuführen ist, damit die subjektive Information eines Textes ein Minimum wird.
Es sei

$$a_1 \; a_2 \; a_3 \; a_4 \ldots a_m$$

der zu lernende Text. Seine subjektive Information beträgt

$$I_s^{(1)} = m \; \mathrm{ld} \; m \qquad \text{bit}$$

Wir teilen diesen Text in q "Wörter" zu je p "Buchstaben" ein, derart, daß $q > 1$ und $q \cdot p = m$.

Für das Erlernen der q Wörter benötigt man zunächst einen subjektiven Informationsbetrag von $I_1 = q \cdot p \cdot \mathrm{ld}\ p$ bit. Für das Zusammenfassen der Wörter in der gegebenen Reihenfolge zum Text kommt ein subjektiver Informationsbetrag $I_2 = q \cdot \mathrm{ld}\ q$ hinzu. Insgesamt wird also durch dieses Verfahren die subjektive Information dieses Textes zu

$$I_s^{(2)} = I_1 + I_2 = q \cdot p \cdot \mathrm{ld}\ p + q \cdot \mathrm{ld}\ q .$$

Für das Minimum dieser Funktion ergibt sich durch einfache Zwischenrechnung die Bedingung

$$\mathrm{ld}\ p = \mathrm{ld}\ m - \frac{p - 1}{\ln 2}$$

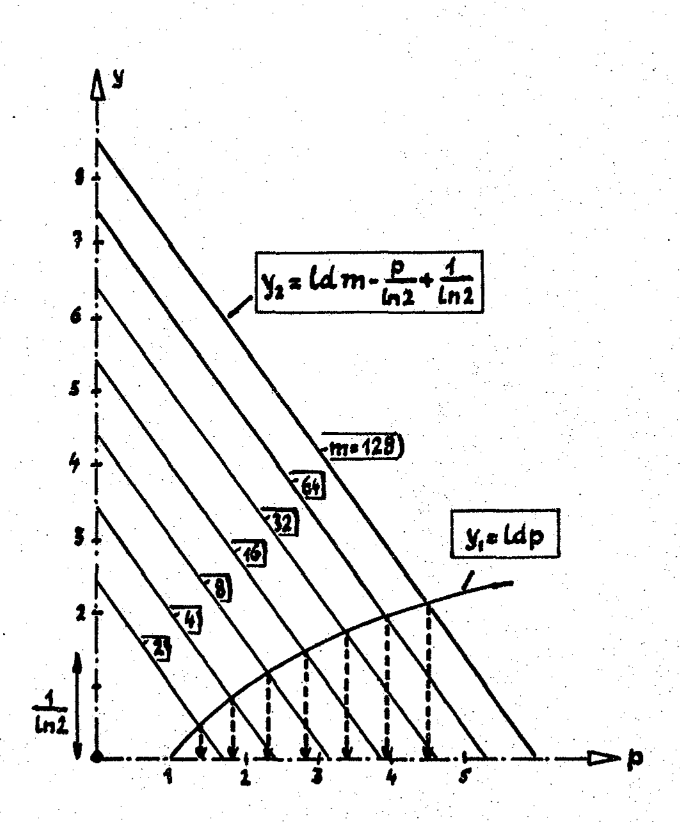
In der beigefügten Figur ist diese Bedingung für die Fälle m = 2, 4, 8, 16, 32, 64 und 128 graphisch dargestellt; daraus ergibt sich eine optimale Wortbildung aus beziehentlich p = 1, 2, 2, 3, 3, 4, 5 Buchstaben.

Beispiel: Die subjektive Information einer 8-stelligen Telefonnummer beträgt, wenn der Lernende beachtet, daß es sich nur um 8 Ziffern handelt

$$I_s^{(1)} = 24 \text{ bit.}$$

Sie wird durch Erlernen des Textes in Zweiergruppen auf $I_s^{(2)} = 16$ bit, durch Erlernen in Dreiergruppen auf $I_s^{(3)} = 16,25$ bit (hier mit $p_1 = 3$, $p_2 = 3$, $p_3 = 2$) und durch Erlernen in Vierergruppen auf $I_s^{(4)} = 18$ bit herabgesetzt. Tatsächlich ist also in Übereinstimmung mit den Anweisungen der Bundespost die Einteilung eines Textes in Zweiergruppen von "Buchstaben" optimal. Dies gilt auch für 4-stellige bis 1o-stellige Nummern.

Für das Erlernen des Alphabets ist nach dem dargelegten Verfahren eine Einteilung in Vierergruppen von Buchstaben am zweckmäßigsten - ein Ergebnis, das Pestalozzi in genialer Einsicht vorweggenommen hat:
"Im Schreiben war meine Methode: Sehr lange bei drei, vier Buchstaben ... stehen zu bleiben und Worte aus diesen zu formen und zusammenzusetzen, ehe sie einen anderen Buchstaben versuchen durften ..."



y
$y_2 = ld\,m - \frac{p}{\ln 2} + \frac{1}{\ln 2}$
m = 128
64
32
16
8
4
2
$y_1 = ld\,p$
$\frac{1}{\ln 2}$
p
1
2
3
4
5
6
7
8

Literatur:

v. Cube, F.: Grundlagenstudien 5/6o, 196o d

Pestalozzi: Stanser Brief.

Eingegangen: 1o.2.1961

Elemente und Zeichen

Schematische Darstellung einiger Voraussetzungen wissenschaftlicher Ästhetik.

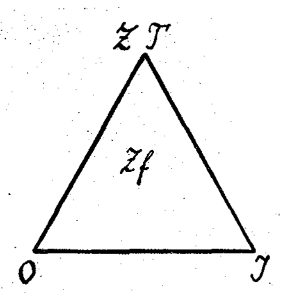
Von Max Bense, Stuttgart.

Moderne Ästhetik hat sich in drei Phasen entwickelt: als spezielle Zeichentheorie, als angewandte Statistik und als Zweig einer verallgemeinerten Informationstheorie. Man kann daher von semiotischer, statistischer und informationeller Ästhetik sprechen. Für die Sache grundlegend ist die Zeichenästhetik, für die Methode grundlegend ist die Statistik; in der Informationsästhetik kommen beide Gesichtspunkte zusammen. Historisch gesehen wurde die semiotische Ästhetik zuerst entwickelt. Sehen wir von Vorläufern in der allgemeinen Semiotik (etwa Arnauld, Leibniz, d'Alembert, Peirce u.a.) und in der spekulativen Ästhetik (etwa Eberhard, Hegel, Whitehead u.a.) ab, so liegen die für uns heute wichtigen Voraussetzungen in Ch.S. Morris's (1) "Esthetics and the Theory of Signs" (1939) vor. Im Folgenden handelt es sich darum, einige Grundlagen der neueren Ästhetik, soweit sie der Semiotik angehören, schematisch darzustellen und zu ergänzen.

Zunächst ist gerade für die ästhetische Theorie die Unterscheidung zwischen Element und Zeichen wichtig. Elemente haben im allgemeinen noch einen selbstständigen Sinn, Zeichen nicht. Elemente sind grundsätzlich materialer Natur, Zeichen fungieren jedoch nur fundamental. Elemente müssen mehrfach zur Verfügung stehen und mehrfach verwendbar sein, Zeichen nicht unbedingt. Einmaligkeit kann zum Prinzip eines Zeichens gehören, nicht aber zum Prinzip eines Elements. Weiterhin ist hervorzuheben, daß Zeichen stets in einem Kommunikationsprozeß (K-Prozeß) fungieren, Elemente jedoch wiederum nicht unbedingt, allerdings gehören diese stets einem physikalischen Prozeß (P-Prozeß) an. Falls ein K-Prozeß für Elemente existiert, kann er als Wahrnehmung im Sinne einer Beobachtung (B-Prozeß) aufgefaßt werden. Elemente fungieren in einem Verknüpfungsschema V (E, E', E'' ...), Zeichen in einem Kommunikationsschema K (Ex•Z' ∩ Z' ' ∩ Z''' ... •Per). (∩ bezeichnet den Durchschnitt der Zeichenvorräte). (2)

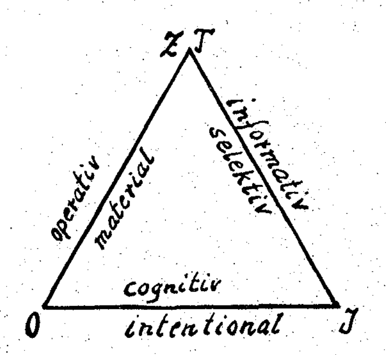
Vom Standpunkt des Zeichenbegriffs wie ihn Peirce und im Anschluß an ihn Morris konzipiert haben, kann man sagen, daß ein Zeichen nicht als "Gegenstand", sondern als "Funktion" zu verstehen ist. Ein Zeichen "ist" nicht, ein Zeichen "funktioniert". Funktionieren vollzieht sich stets im Schema materialer Relation. Materiale Relationen sind Träger der Funktionen. Die Zeichenfunktion setzt eine dreigliedrige materiale Relation voraus, deren Schema schon

von Peirce (3) im wesentlichen folgendermaßen bestimmt wurde:



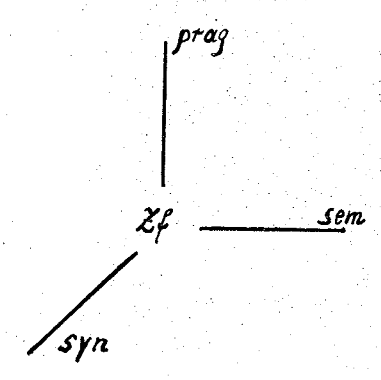
ZT bezeichnet den Zeichenträger, O das, was durch das Zeichen bezeichnet und vermittelt wird, I den Kommunikanten, d.h. den Geber oder Empfänger des Zeichens im Zeichenprozeß (Z-Prozeß) b.z.w. K-Prozeß. Zf bezeichnet die Zeichenfunktion als Ganzes.

Man macht sich leicht klar, daß die Teilrelation zwischen ZT und I die selektiven und informativen Momente, die Teilrelation zwischen I und O die cognitiven und intentionalen Momente und die Teilrelation zwischen O und ZT die operationellen und materialen Momente enthält.



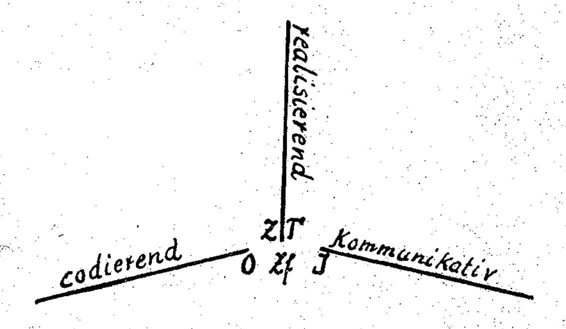
Die Manipulierbarkeit eines Zeichens kann sich in drei Dimensionen b.z.w. in drei Freiheitsgraden vollziehen, deren Schema man sich heute folgendermaßen

denkt:



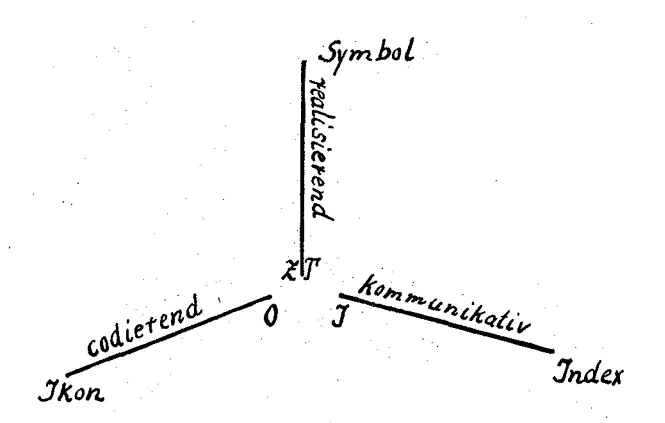
syn bezeichnet die syntaktische, sem die semantische, prag die pragmatische Dimension. In der syntaktischen Dimension verbindet sich ein Zeichen mit anderen Zeichen, in der semantischen Dimension bezeichnet das Zeichen b.z.w. bedeutet es etwas, in der pragmatischen Dimension bezeichnet es jemandem.

Ein weiteres Schema der Zeichenfunktion läßt sich gewinnen, wenn man Gesichtspunkte der Kommunikations- und Informationstheorie (4) berücksichtigt. Zeichen können dazu dienen, einen Sachverhalt zu "realisieren", zu "codieren" (b.z.w. zu "decodieren") und zu "kommunizieren" (b.z.w. zu "dekommunizieren").



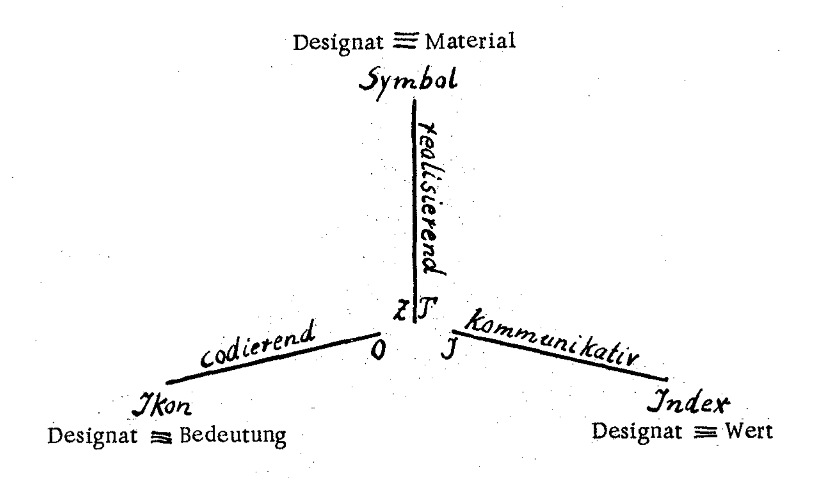
Das Schema macht offenbar, daß die realisierende Funktion sich vor allem am am Zeichenträger, die kommunikative Funktion sich vor allem am Kommunikanten und die codierende Funktion sich vor allem am Zeichenobjekt auswirkt. Man wird auch darauf aufmerksam machen müssen, daß in der realisierenden

Funktion vor allem selektive und materiale Momente, in der kommunikativen Funktion vor allem selektive und intentionale Momente und in der codierenden Funktion vor allem operationelle und intentionale Momente zusammentreffen. Nun geht auch die Auffassung des Zeichens als Symbol, Ikon oder Index auf Morris und Peirce zurück. Symbol meint das Zeichen als bloßes Zeichen; Ikon ist ein Zeichen, sofern es abbildenden Charakter besitzt, derart, daß es, wie Morris es ausgedrückt hat, eine Übereinstimmung mit dem zeigt, was es abbildet. Diese Übereinstimmung (Ähnlichkeit) kann struktural, aber auch material sein. Man kann daher, über Morris hinausgehend, von einem strukturalen und von einem materialen Ikon sprechen. Ein Porträt ist im allgemeinen ein strukturales Ikon, genau wie eine Landkarte. Der Pfiff einer Lokomotive kann in gewisser Hinsicht als ein noch materiales Ikon der Lokomotive aufgefaßt werden. Krankheitssymptome (Schmerzen) sind materiale Ikone, Index ist ein Zeichen, wenn es auf das, was vermittelt werden soll, nur hinweist, genauer also: eine Anweisung zur Vermittlung wie z.B. ein Wegweiser, die Angabe einer Seitenzahl u.s.f. Ein Wegweiser, der auf einen Wald hinweist, kann nun zugleich auch das kartographische Zeichen eines Kugelbaumes zeigen. Ein Index kann demnach also durchaus ikonisch sein. Im allgemeinen kennzeichnet das Symbol die realisierende Funktion und hebt die syntaktische Dimension hervor, kennzeichnet das Ikon die codierende Funktion in der semantischen Dimension und ist der Index typisch für die kommunikative Funktion und pragmatische Dimension eines Zeichens.



Es wird nun weiter der Unterschied gemacht zwischen dem, was das Zeichen bezeichnet (designiert) und dem, was es bedeutet (denotiert). Morris's Beispiel: ein akustisches Zeichen kann einen Pfiff designieren, aber der Pfiff muß nicht eine herannahende Lokomotive bedeuten.

Man muß nun, wieder über Morris hinausgehend, die Designata b.z.w. Denotata ebenfalls entsprechend den Zeichen klassifizieren. Dabei stellt sich heraus, daß dem Zeichen als Symbol ein Designatum entspricht, das fast nur als "Material" (des Zeichens) verständlich ist. Das Zeichen als Ikon hingegen designiert mindestens in den Fällen, in denen es sich um ein strukturales Ikon handelt, einen "Gegenstand" oder wie man auch sagen könnte eine "Bedeutung". Erst das Zeichen, das ein Index ist, designiert das, was Morris im Anschluß an Dewey (5) und Mead (6) als "Wert" bezeichnet hat. Man kann es auch so ausdrücken: die realisierende Funktion eines Zeichens reflektiert primär auf Material (Symbol), die codierende auf Bedeutung (Ikon) und die kommunikative auf Wert b.z.w. Sinn (Index). Schon diese subtilere Klassifikation läßt es nicht zu, die Auffassung Morris' zu teilen, daß der ästhetische Zeichenprozeß ein ikonischer ist (7) und daß die Designata der ästhetischen Zeichen Werte sind. Diese Formulierung ist zweifellos zu allgemein und zu grob.



Ein (ideales) Kunstwerk, aufgefaßt als Träger ästhetischer Zeichen, stellt gewiß ein Ganzes dar und als Ganzes einen ästhetischen Zeichenkomplex, der singulär ist. Ästhetische Zeichen tendieren im Gegensatz zu bloß elementaren Zeichen (Elementen) zweifellos auf Singularität. Sie erscheinen als solche nur einmal, können als solche nur einmal verwendet werden (im idealen Fall).

Von hier aus kann nun m.E. die ästhetische Realisation aufgeklärt werden. Wir führten eingangs das Zeichen als "unselbstständiges Sein" ein. Das bedeutete es, daß wir sagten: es "ist" nicht, sondern "funktioniert". Der Sinn des "Funktionierens" ist die ontologische Sättigung des Zeichens, seine Realisation macht es selbstständig. Die Designation gehört zur Realisation, insofern die Designata

das Zeichen abschließen, sättigen, verselbstständigen. Nur realisiertes Sein ist selbstständiges Sein. Diese ontologische Sättigung kann in der materialen Eigenwelt der Zeichen aber auch in der relationalen Außenwelt der Zeichen durchgeführt werden (in der semiotischen Phase und in der ontischen Phase). Es ist also ohne weiteres zu rechtfertigen, wenn man von einer gewissen Priorität der Realisationsfunktion im Zeichenprozeß spricht. Singuläre Zeichen b.z.w. Zeichenkomplexe wie es die ästhetischen Zeichen, die wir Kunstwerke nennen, darstellen, können als solche nicht codierbar sein. Die Priorität der Realisationsfunktion im ästhetischen Zeichenprozeß zeigt sich gerade darin, daß ästhetische Zeichen b.z.w. Zeichenkomplexe (ästhetische Botschaften) singulärer Natur sind. Codierbarkeit würde ihre Singularität verletzen, wenn nicht sogar aufheben. Dennoch kann man danach fragen, welcher kategorialer Zeichencharakter in der Singularität eines Kunstwerks designiert wird. Die Singularität kann offenbar symbolisch (material), ikonisch (semantisch, denotativ) oder indexmässig (axiologisch, kommunikativ) sein. Statistische Ermittlungen, wie sie von Fucks, Guiraud u.a. (8) durchgeführt wurden, erstrecken sich bei Texten primär auf die materiale Zeichensphäre der Symbole, d.h. der linguistischen Elemente. Abzählung der mit den sprachlichen Partikeln und Einheiten realisierten Ikon- und Indexzeichen würde es möglich machen, statistische Charakteristiken in die nicht-materialen Schichten eines ästhetischen Zeichenprozeßes hineinzutreiben. Allerdings müßten größere Proben vorausgesetzt werden. Auf diese Weise könnte die bisherige syntaktische Textästhetik (die durch die statistischen Charakteristiken Fucks's, Guirauds u.a. involviert wird) in eine semantische überführt werden.

L i t e r a t u r

(1) Journal of Unified Science (Erkenntnis), VIII, 1939.

(2) vergl. Grundlagenstudien Nr. 5, 196o.

(3) Collected Papers of Charles S. Peirce, 1931 -35 (Harvard University) vergl. auch A.W. Burkes, Icon, Index and Symbol, Phil. and Phenom. Research, Vol. IX, Nr. 4, 1949.

(4) W. Meyer-Eppler, Grundlagen und Anwendung der Informationstheorie, 196o

(5) J. Dewey, The Quest of Certainty 1929.

(6) G.H. Mead, The Philosophy of the Act, 1938.

(7) L.N. Roberts, Art as Icon. Tulane Studies in Philosophy, IV, 1955.

(8) vergl. M. Bense, Programmierung des Schönen (Literaturverzeichnis), 196o.

Eingegangen: 9.2.1961

Zum Problem des vorbewußten Gedächtnisses.

Von Helmar Frank, Waiblingen.

1. Begriffliche Vorbemerkungen.

Unter einem Kanal wird eine Vorrichtung zur Übertragung einer Nachricht von einem Punkt der Raumzeit zu einem anderen verstanden. Wir sprechen von einem Raumkanal, wenn Eingabe und Ausgabe nahezu gleichzeitig erfolgen (Telefon), von einem Zeitkanal, wenn beide nahezu am selben Ort erfolgen (Denkmal), von einem Raumzeitkanal in jedem anderen Falle (Buch).

Sofern die Ausgabe eines nachrichtenverarbeitenden Systems eine eindeutige Funktion der Eingabe ist, dann ist diese Funktion bestimmt (1) durch die "logischen Schaltungen" des Systems, und (2) durch die Zufluß- und Fassungskapazitäten seiner Zeitkanäle (Speicher, Gedächtnisse) und die in diese eingelieferten Programme. Die Kapazitäten der Zeitkanäle können bei komplexerer Schaltung beliebig verkleinert, und das ganze System sogar durch einen "äquivalenten Zuordner" ohne Zeitkanal ersetzt werden, wenn dafür mehr Schaltungsaufwand getrieben wird. Die Grenzen zwischen Schaltungskomplexität und Zeitkanalkapazität sind daher fließend (Steinbuch, 1959, S. 174). Dies gilt aber nicht mehr oder nur noch in geringem Maße, sobald der zeitliche Verlauf der Ausgabe als Funktion der Eingabe und dessen zeitlichem Verlaufe vorgeschrieben sind. (Diese Funktion vermag ein äquivalenter Zuordner, also eine Realisation eines Systems von Aussagenverknüpfungen, nicht darzustellen, wohl aber eine Turing-Maschine durch Benützung ihrer Zeitkanäle.)

Die Kapazitäten von Zeitkanälen sind für die Informationspsychologie bedeutsam, sobald für die psychologisch relevante Informationsverarbeitung im Menschen ein Modell (als homöomorphe Abbildung der realen Befunde; vgl. Eichhorn, 1961) entwickelt werden soll. Denn psychologische Prozesse haben kennzeichnende zeitliche Verläufe. Neben dem objektiven Eingang des nachrichtenverarbeitenden Systems "Mensch", den Sinnesorganen, und seinem objektiven Ausgang, der Muskulatur, ist für die Psychologie noch ein subjektiver Ausgang (an welchem die Apperzeption stattfindet) und ein subjektiver Eingang (von welchem die Realisation ausgeht) wesentlich, will sie nicht auf das Erkenntnismittel der Introspektion verzichten.

Nachrichtentechnische Modelle sind für das "heuristische Denken" (Eichhorn, 1961) der Informationspsychologie wichtig, weil sie aufgrund ihrer Anschaulichkeit und Gefügigkeit die Aufstellung von Hypothesen stark begünstigen. (Werden so gewonnene Hypothesen durch den Versuch widerlegt, dann muß das Modell geändert, zumindest ergänzt werden. Es wird also versucht, den Menschen durch eine Folge von Modellen in gewissem Sinne zu approximieren.) Außerdem bilden die Modelle einen Existenzbeweis für die physikalische Realisierbarkeit psychologischer Prozesse (Moles, 1958, § VII, 4 G) - falls nur der objektive Eingang und Ausgang berücksichtigt wird.

Als Modell eines nachrichtentechnischen Modells kann ein Organogramm (Flußdiagramm, Verlaufsschema) dienen. Die beigefügte Abbildung beschreibt das schrittweise verfeinerte Modell, an welchem der Verfasser seine informationspsychologischen Hypothesen gewann (1958 ff.). Deren empirische Bestätigungen rechtfertigen die Aufstellung der beiden noch nicht empirisch geprüften Hypothesen in § 2 und § 3, die ihrerseits wieder bei Betrachtung des Modells naheliegen.

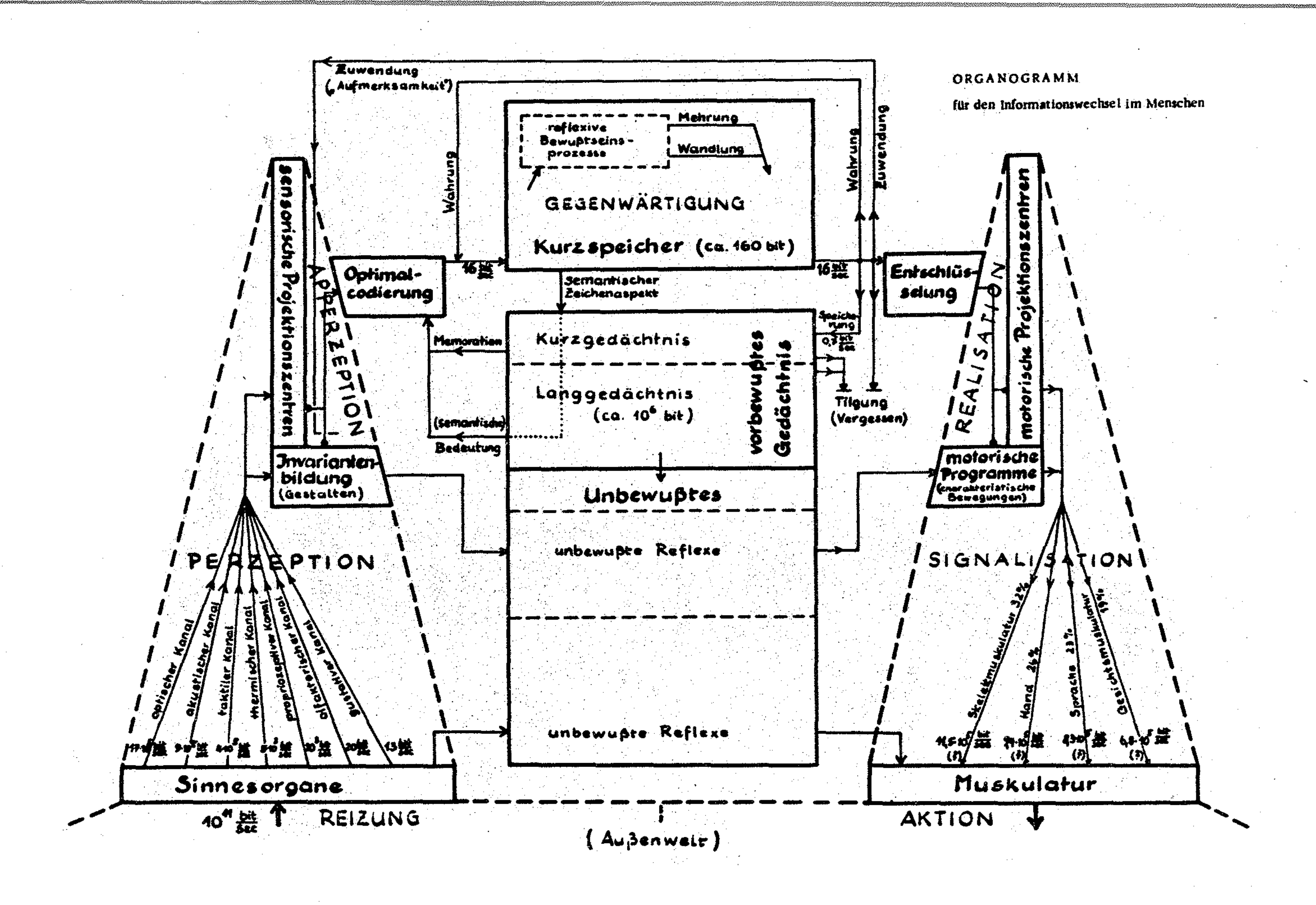
Die Hypothesen betreffen die Zeitkanäle des Menschen. Wir heben (in Anlehnung an Steinbuch, 1961, S. 44) zwei Arten hervor:

(1) Speicher sind Zeitkanäle, welche in addressierte räumliche oder zeitliche (Magnettrommeln! Schieberregister!) Zellen unterteilt sind, so daß die Adressen, mittels derer die Zellinhalte beziehbar sind, ein erstes, die Zellinhalte selbst ein davon getrenntes, zweites Repertoire bilden. (Adressen und Speicherinhalte verhalten sich zueinander wie Metasprache und Objektsprache.)

(2) Gedächtnisse sind Zeitkanäle, aus denen Informationen vermittels anderer, aber nicht unbedingt einem anderen Repertoire entstammender ("Schlüssel"-) Informationen bezogen ("zu ihnen assoziiert") werden können. Das menschliche Gedächtnis bildet das Paradigma. -

ORGANOGRAMM

für den Informationswechsel im Menschen



Ein nachrichtentechnisches Modell für die menschliche Informationsverarbeitung muß einen Speicher enthalten, welcher das "Bewußtsein" von (zeitlich geordneten, also adressierten) Informationen, also das Zwischenglied zwischen subjektivem Ausgang und subjektivem Eingang, darstellt. Wir nennen diesen Speicher "Kurzspeicher", seine Funktion "Gegenwärtigung". Er kann nachrichtentechnisch durch ein lineares Schieberregister mit einer konstanten Transportgeschwindigkeit von 16 bit/sec und einer Länge von 16o Binärpositionen verwirklicht werden, mit zusätzlichen Vorrichtungen zur Informationsverarbeitung ("reflexive Bewußtseinsprozesse").

In den Kurzspeicher gelangen nicht nur die apperzipierten Außenweltsignale, sondern auch Informationen, welche durch die letzteren (z.B. wegen der semantischen Funktion der wahrgenommenen Zeichen) aus einem Zeitkanal in den Kurzspeicher gerufen werden. Das dafür im Modell vorzusehende Gedächtnis nennen wir "vorbewußtes Gedächtnis". (Man beachte, daß wir diesen Terminus der Psychoanalyse hier neu definieren, indem wir ihn auf ein exakt definierbares Modell anstatt unmittelbar auf den Menschen beziehen.) Als nachrichtentechnische Realisierung des vorbewußten Gedächtnisses scheint Steinbuchs Lernmatrix geeignet zu sein.

Außer dem Kurzspeicher und dem vorbewußten Gedächtnis muß ein entwickelteres Modell für das nachrichtenverarbeitende System "Mensch" noch einen weiteren Zeitkanal enthalten, der (wiederum in Anlehnung an die Psychoanalsye, aber mit dem Bezug auf ein rationales Modell, also mit der Chance einer präzisen Definition) das "Unbewußte" genannt wird. Gegenüber dem vorbewußten Gedächtnis zeichnet es sich dadurch aus, daß seine Inhalte nicht ("absichtlich") durch Schlüsselinformationen des Kurzspeichers in diesen gerufen werden können, sondern eher durch stochastische Prozesse dorthin gelangen, und außerdem Programme für eine vom Kurzspeicher unabhängige Nachrichtenverarbeitung enthalten ("unbewußte Relfexe" - vgl. Steinbuch, 1961, Abb. 12).

2. Fassungskapazität K_V des vorbewußten Gedächtnisses.

Die Zuflußkapazität C_V zum vorbewußten Gedächtnis wurde in früheren Arbeiten (Frank, 1959, § 3.6; 196o S. 28) zu o,7 bit/sec bestimmt, was neuerdings v. Cube (196o) aufgrund anderer Experimente bestätigen konnte. Da die Bewahrungszeit für verschiedene Informationen verschieden ist, kann die Fassungskapazität K_V nicht in Analogie zur Fassungskapazität K_k des Kurzspeichers als Produkt aus Zuflußkapazität und Bewahrungszeit berechnet werden. Jedoch kann K_V dadurch nach oben abgeschätzt werden, daß eine größere Fassungskapazität sicher für das Modell überflüssig wäre, als zur Bewahrung jeder zugeflossenen Information "auf Lebenszeit" vorhanden sein müßte, nämlich ca. $1o^9$ bit.

Man wird mit Förster (1948, S. 2 und S. 1o) den Ansatz machen, daß von jeder im vorbewußten Gedächtnis bewahrten Informationsmenge in gleichen, kurzen Zeitintervallen derselbe Bruchteil "zerfällt" ("vergessen wird"). Dieser Ansatz folgt aus der naheliegendsten Annahme, daß das Vergessen ein stochastischer Prozeß ist. Die daraus hergeleitete Vergessensfunktion steht aber im Widerspruch mit der von Ebbinghaus gemessenen Vergessenskurve, welche nicht asymptotisch gegen Null zu gehen scheint. Wir machen mit Förster den Prozeß der Memoration (vgl. Abbildung) dafür verantwortlich, d.h. wir nehmen die Modellvorstellung zu Hilfe, daß aus dem vorbewußten Gedächtnis stammende, gegenwärtig werdende Informationen erneut die Chance der Einlieferung in dieses Gedächtnis haben. Statt des Försterschen Ansatzes

$$(1) \quad \frac{dI}{dt} = - c \cdot I$$

mit der bewahrten Information I und der Zerfallskonstanten c kommt man damit auf den Ansatz

$$(2) \quad \frac{dI}{dt} = - (c - m_i) \cdot I,$$

wobei m_i ein die Wichtigkeit der Information messender Memorationskoeffizient ist. (Förster nimmt für die Memoration eine andere Modellvorstellung zu Hilfe, doch führt die daraus hergeleitete Funktion zu einem Widerspruch, sobald man für I den Gesamtinhalt K_v des vollen Gedächtnisses setzt.) Interpretiert man Försters "Flüchtigkeiten" (a.a.O. S. 6) als Differenzen $c - m_i$, dann bleibt die Übereinstimmung der Theorie mit den Experimenten von Ebbinghaus im Mittel bei 2,8 %.

Um die Kapazität K_v zu bestimmen, wird man nun überlegen, daß bei vollem Gedächtnis Zufluß- und Vergessensgeschwindigkeit übereinstimmen müssen:

$$(3) \quad (c - m_i) \cdot K_v = C_v \quad (= 0{,}7 \text{ bit/sec}).$$

Versucht man die Memoration weitmöglichst auszuschalten, dann kann c aus (2) durch das Experiment bestimmt werden, so daß K_v aus (3) errechenbar wird. Der Verfasser gelangte dabei auf eine Größenordnung von $K_v = 10^6$ bit. Darüber wird demnächst an anderer Stelle ausführlicher berichtet werden. -

3. Zum Lernprozeß

Aufgrund der Definition des vorbewußten Gedächtnisses wird man als wesentliches Merkmal des Lernens ansehen, daß eine bewahrte Information aufgrund von immer mehr Schlüsselinformationen vergegenwärtigt werden kann. Die Lernfunktion v. Cubes (196o) dürfte so zu verstehen sein, da sie die Einlieferung ei-

ner Kette aus Zeichen eines bereits im vorbewußten Gedächtnis befindlichen Repertoires quantitativ zu beschreiben sucht. (Inwieweit v. Cubes Ableitung mit unserem Modell vereinbar ist oder welches andere Modell ihr zugrundeliegt, müßte allerdings untersucht werden.)

Ein viel elementareres Problem ist die Frage, mit welcher Wahrscheinlichkeit nach wieviel Wiederholungen ein Zeichen überhaupt ins vorbewußte Gedächtnis gelangt. Die Verknüpfung mit Schlüsselinformationen interessiert dabei nicht: das Zeichen soll lediglich beim neuen Auftritt als bereits bekannt erscheinen und andererseits in den Kurzspeicher ohne Perzeption gelangen (also memoriert werden) können. Das letztere ist nach unserem Modell nicht aus den für die Optimalcodierung erforderlichen Zeitkanälen möglich, welche die Häufigkeits-verteilungen offensichtlich sehr viel schneller erlernen und vergessen müssen, als es der Funktionsgeschwindigkeit des vorbewußten Gedächtnisses entspricht.

Wenn jedes Zeichen innerhalb eines seiner Information proportionalen Zeitintervalls entweder vollständig oder überhaupt nicht ins Gedächtnis gelangt (was eine noch ziemlich grobe Modellvorstellung ist!), und die Wahrscheinlichkeit, daß es dort (erstmals oder wiederholt) eindringt, proportional zu seinem Beitrag zur Negentropie ist (eine Modellvorstellung, die aufgrund ähnlicher, empirisch schon bestätigter Vorhersagen - Frank, 1958; 196o, S. 3o und S. 85-96 - sehr naheliegt), dann ist die Wahrscheinlichkeit, daß das Zeichen Z als erstes während des Lernprozesses ins Gedächtnis gelangt

$$(4)\quad p = \frac{h \cdot \mathrm{ld}\ 1/h}{H}$$

wobei H die Negentropie der Zeichenfolge ist, innerhalb welcher das zu erlernende Zeichen Z mit der relativen Häufigkeit h auftritt. Die Wahrscheinlichkeit, daß mindestens n Zeichen vor Z gelernt (und evtl. sogar wiederholt gelernt) werden, ist demnach $(1 - p)^n$. Für jedes noch so kleine ε gilt dann

$$(5)\quad (1-p)^n \approx \varepsilon \text{ , falls}$$

$$(6)\quad n \approx \frac{\log \varepsilon}{\log\ (1-p)}$$

Man sieht, daß für festes ε und feste Negentropie H dasjenige Zeichen mit Wahrscheinlichkeit als erstes gelernt wird, für welches $h \cdot \mathrm{ld}\ 1/h$ am größten ist, vorhandenenfalls also das "maximalbetonte" Zeichen (Frank, 1958 und 1959, § 4.41) mit h = 1/e.

Die bedingten Wahrscheinlichkeiten p_i für das erstmalige oder wiederholte Eindringen der a n d e r e n Zeichen mit den Häufigkeiten h_i, wenn schon bekannt ist, daß Z noch nicht ins Gedächtnis gelangte, ist gemäß (4)

$$(7)\quad p_i = \frac{h_i \cdot \mathrm{ld}\ 1/h}{H^*} \qquad \text{mit } H^* = H - h\ \mathrm{ld}\ 1/h.$$

Für diese n Einlieferungsvorgänge ins Gedächtnis, von denen Z zufällig nicht betroffen wird, ist - im Mittel über viele Versuchspersonen - die Zeit

$$(8)\quad t = \frac{n}{m\,C_v} \sum p_i \cdot \mathrm{ld}\ 1/h_i$$

erforderlich. In dieser Zeit kommt die Information $C_k \cdot t$ zu Bewußtsein (C_k = 16 bit/sec ist die Zuflußkapazität des Kurzspeichers), in Form einer Zeichenkette der Länge N und der Negentropie H:

$$(9)\quad N\ H = t \cdot C_k$$

Daraus läßt sich N und damit $N \cdot h$, die Zahl der Wiederholungen des zu lernenden Zeichens Z, bis es mit der Wahrscheinlichkeit $1 - \varepsilon$ im Gedächtnis aufgenommen ist, berechnen zu:

$$(1o)\quad N \cdot h \approx \frac{h}{H} \cdot \frac{C_k}{C_v} \cdot \frac{\log \varepsilon}{\log(1-p)} \cdot \sum \frac{h_i\,(\mathrm{ld}\ 1/h_i)^2}{H^*} \quad . \quad - - -$$

Die in diesem und dem letzten Paragraphen gemachten Hypothesen werden durch das vorausgesetzte Modell nahegelegt. Da sich dieses schon vielfach bewährt hatte, ist eine spätere empirische Bestätigung unserer Ansätze oder ihrer Konsequenzen zu vermuten. Ihre Widerlegung würde neue Information für die Ausgestaltung des Modells liefern und damit einen Schritt weiter in der Approximation des Menschen durch eine Modellfolge führen.

Schrifttumsverzeichnis.

V. Cube, F.: Zur Theorie des mechanischen Lernens. Grundlagenst. I, 196o, S. 143 f.

Eichhorn, G.: Zur Theorie der heuristischen Denkmethoden. Grundlagenstudien, II, 1, 1961

Förster, H.: Das Gedächtnis. Wien, Deuticke, 1948

Frank, H.: Sur un théorème de l'esthetique informationelle, Révue d'Esth. 11, 1958, p. 62 ff.

Grundlagenprobleme der Informationsästhetik. Hess, Waibl. 1959.

Arbeiten in Grundlagenstudien I, 196o.

Moles, A.A.: Théorie de l'information et perception esthetique. Paris, 1958.

Steinbuch, K.: Logische Verknüpfung. NTZ 12, 1959, S. 169 ff.

Lernmatrix. Kybernetik 1, 1961, S. 36 ff.

Eingegangen: 14.2.1961

Zur Theorie der heuristischen Denkmethoden.

(unter besonderer Berücksichtigung des Denkens mit Maschinen)

Von Gerhard Eichhorn, Stuttgart

In Zusammenhang mit dem technischen Problem des maschinellen Denkens sind an verschiedenen Stellen Untersuchungen über heuristische Denkmethoden durchgeführt worden, die man als Ansätze zu einer neuen Wissenschaft betrachten kann (Gelernter und Rochester 1955; Newell, Shaw und Simon 1957, 1960 Gelernter 1960 . Diese Wissenschaft, für die hier der Name Pragmalogik vorgeschlagen wird, beschäftigt sich mit zweckmässigen Methoden zur Durchführung von Denkprozessen, unabhängig davon, ob Menschen oder Maschinen dabei beteiligt sind. In dieser Arbeit sollen die Problemstellung dieser Wissenschaft charakterisiert und ihre Methoden besprochen sowie ein theoretisches Gerüst gegeben werden, in das sich die bisherigen Einzelergebnisse einordnen lassen.

1) Problemstellung:

Die vorliegende Arbeit bezieht sich nur auf formalisierbares Denken; die Problemstellung ist also von diesem Standpunkt aus klarzulegen. Gegeben sei eine endliche oder unendliche Menge von Zeichen, für die im Hilbert'schen Sinne nur die Unterscheidbarkeit gefordert wird. Gegeben sei weiter eine Anzahl von Regeln, nach denen Zeichenkombinationen P_1, P_2 ... P_i, hier ganz allgemein Ausdrücke genannt, gebildet werden. Zwischen zwei Ausdrücken P_i und P_j - in dieser Reihenfolge - kann oder kann nicht eine Beziehung S_{ij} bestehen (die z. B., wenn die P_i logische Aussagen sind, bedeutet P_j ist aus P_i ableitbar, oder wenn die P_i Stellungen in einem Spiel darstellen, als mögliche Spielzüge zu deuten sind usw.). Die Gesamtheit der P_i und der S_{ij} soll als Denkfeld bezeichnet werden.

Ein Denkprodukt stellt dann eine lineare Anordnung von Ausdrücken P_1, P_2 ... P_i ... P_n dar, in der zwischen zwei benachbarten Ausdrücken jeweils die Beziehung $S_{i,i-1}$ besteht.

Wenn die P_i als Knotenpunkte und die S_{ij} als Kanten eines gerichteten Graphen gedeutet werden, erhält man eine mathematische Darstellung, die als Grundlage einer Theorie der heuristischen Denkmethoden besonders geeignet ist. (Figur 1)

Ein Denkprodukt stellt dann einen "Weg" in diesem gerichteten Graphen dar und die Problemstellung des formalisierbaren Denkens fordert im allgemeinen die Angabe eines Weges in einem Denkfeldgraphen G, der in einem bestimmten Teilgraphen G_1 beginnt und in einem Teilgraphen G_2 endet, wobei G_1 und G_2 natürlich aus einem Punkt bestehen können.

Ein mathematischer Beweis z.B. ist ein solcher Weg, der im Teilgraphen Axiomensystem beginnt und bei einem bestimmten Punkt P_n, der zu beweisenden Aussage, endet. Oder ein ganz anderes Beispiel: die P_i sind mögliche Stellungen in einem Spiel, die S_{ij} also zugelassene Spielzüge. Dann ist G_1 die Anfangsstellung, G_2 besteht aus den durch eine Bedingung charakterisierten Schlußstellungen z.B. den Mattstellungen beim Schachspiel.

Mit den Denkprodukten als solchen beschäftigen sich die Logik, die Mathematik und sonstige Wissenschaften. Die Pragmalogik dagegen beschäftigt sich mit den heuristischen Denkmethoden, d.h. mit der Frage nach der faktischen Herstellung von Denkprodukten. Man kann ihre Problemstellung so formulieren:

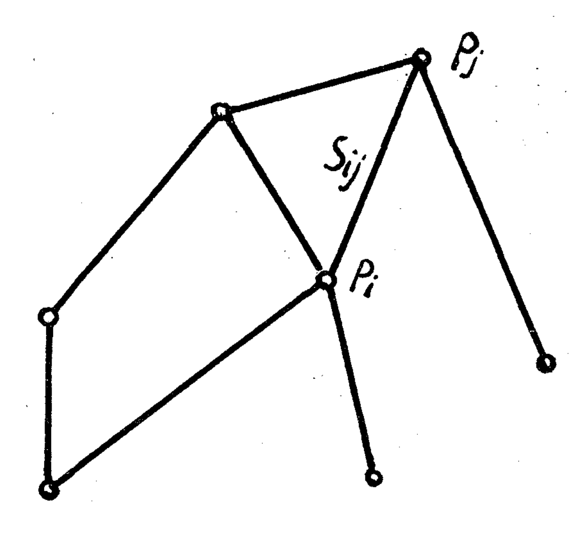
> Es sind allgemeine Methoden anzugeben, nach denen durch bestimmte Bedingungen gekennzeichnete Wege im gegebenen Denkfeldgraphen möglichst einfach und möglichst vollständig bestimmt werden können.

Die Pragmalogik ist also eine empirische Wissenschaft; falls es sich um menschliches Denken handelt, würde man ihrer Fragestellung als denkpsychologisch bezeichnen. Natürlich ist es prinzipiell möglich, jeden gesuchten Weg durch Ausprobieren aller möglichen Kombinationen im Denkfeld zu gewinnen; es ist klar, daß das bei jedem einigermaßen interessanten Denkfeld praktisch unmöglich ist.

2) Methoden:

Die Methoden der Pragmalogik sind, wie schon gesagt, empirischer Art. Als erstes ist die Introspektion zu nennen: man beobachtet sich selbst beim Denken und versucht, die aufgewandten heuristischen Methoden zu bestimmen. Natürlich lassen sich auch hier die Schwierigkeiten jeder Introspektionsmethode nicht vermeiden: einmal wird der Denkvorgang durch die Beobachtung gestört, zum anderen verläuft gerade das heuristische Denken weitgehend unbewußt. Dieselben Einwände gelten für die Fragebogenmethode, welche die Introspektionsmethode auf einen größeren Personenkreis ausdehnt. Die psychologische Methode der Verhaltensbeobachtung verspricht hier natürlich wenig Erfolg.

Dagegen steht heute für die Erforschung des heuristischen Denkens eine neue Forschungsmethode zur Verfügung, die Untersuchung idealer Gebilde. Solche idealen Gebilde stellen für die Pragmalogik die mit Maschinen durchgeführten Denkprozesse dar. Wenn man sich klar macht, wie wesentlich für die Entwicklung der exakten Wissenschaften die Einführung und Behandlung idealer Gebil-



Figur 1

de gewesen ist, erkennt man, daß die Pragmalogik als exakte Wissenschaft trotz der vorhandenen Ansätze (z.B. Polya 1954) erst am Anfang ihrer Entwicklung steht.

3) Ergebnisse:

Die neueren Untersuchungen auf diesem Gebiet sind mit dem t e c h n i s c h e n Ziel angestellt worden, möglichst wirkungsvolle Maschinenprogramme für Denkoperationen zu entwerfen, nicht mit dem w i s s e n s c h a f t l i c h e n, die heuristischen Denkmethoden als solche zu untersuchen; ihre Ergebnisse sind deshalb unsystematisch und unvollständig. In diesem Abschnitt soll nur eine reine Aufzählung solcher Ergebnisse gegeben werden, die systematische Anordnung und theoretische Bearbeitung erfolgt im nächsten Abschnitt.

Kaum einer besonderen Erwähnung bedarf wohl die Methode der Wegkehrung: man geht vom Zielgraphen aus und sucht rückwärts einen Weg zum Ausgangsgraphen. Das ist eine allgemein übliche und nützliche Methode vor allem dann, wenn, wie bei einem mathematischem Beweis, der Zielgraph aus einem Punkt, dem zu beweisenden Satz, besteht.

In diesem Falle ist auch die Verwendung einer Zeichnung allgemein üblich; das ist ein Spezialfall einer wichtigen heuristischen Methode, der Verwendung eines Modells, die in vielen Fällen, in welchen im Denkfeld außerlogische Variablen vorkommen, sinnvoll und erfolgreich zur Auffindung und Beurteilung möglicher Lösungswege sein kann.

Diese beiden Methoden genügen schon, wie Gelernter (1958) gezeigt hat, einen Computer einfache geometrische Beweise finden zu lassen. Aber - um ein primitives aber charakteristisches Beispiel pragmalogischer Methodik zu geben - ein Beweis, für den eine Maschine 2o Minuten braucht, findet nach Versuchen des Verfassers ein mathematisch begabter Obertertianer in durchschnittlich zwei Minuten, ein unbegabter gar nicht. Das zeigt, wenn man noch das wesentlich schnellere Arbeiten der Maschine berücksichtigt, daß schon ein mathematisch begabter Schüler über wirkungsvollere heuristische Methoden verfügt als die beiden genannten. Wie schon erwähnt, hat dieses Beispiel noch keine wissenschaftliche Bedeutung, es soll nur den Weg zeigen, den die Pragmalogik nach Ansicht des Verfassers zu gehen hat.

Zwei weitere heuristische Methoden, die durch Introspektion gewonnen und schon mit Erfolg beim Denken mit Maschinen verwandt wurden, sind hier anzuführen: einmal die Methode des logischen Abstandes: man ordnet in geeigneter Weise jeweils zwei Ausdrücken einen "Abstand" zu und versucht, durch zugelassene Umformungen diesen Abstand zu verkleinern. Weiter die Methode des Planens: man legt erst einmal die Grundsatzlinien für die Lösung eines Problems fest und arbeitet dann die Einzelheiten aus.

Aus Untersuchungen des Verfassers folgt, daß, vor allem bei komplizierten Problemen, eine weitere heuristische Methode von derselben Bedeutung ist wie die bisher erwähnte: die Methode der Begriffsbildung: bestimmte Kombinationen, die immer wieder vorkommen, werden als neue Begriffe eingeführt und ihre Verknüpfungne erst einmal gesondert untersucht.

4) Theoretische Betrachtungen:

Die Darstellung des Denkfelds als gerichteten Graphen ermöglicht es, eine Theorie der heuristischen Denkmethoden unter Benutzung von Begriffen der Graphentheorie zu geben. Dabei genügen nach dem heutigen Stande zwei Operationen, die Bewertung eines Graphen und homöomorphe Abbildung (hA) eines Graphen.

Unter der Bewertung eines Graphen versteht man bekanntlich die Zuordnung je einer Zahl zu jedem Knotenpunkt (Punktbewertung) oder jeder Kante (Kantenbewertung) eines Graphens.

Die Kantenbewertung ist eine klassische heuristische Methode: Man hat eine "Vorstellung" davon, welcher Weg am meisten Erfolg verspricht und versucht den erst einmal.

An dieser Stelle ist die Frage aufzuwerfen: woher kommen die heuristischen Methoden? In unserem Falle ist das die Frage nach der Entstehung einer bestimmten Bewertung.

Man hat - und das ist einer der wesentlichen Gesichtspunkte für die Theorie der heuristischen Denkmethoden - zu unterscheiden zwischen dem Fall, daß heuristische Methoden von einem anderen System übernommen werden (Lehren bzw. Programmieren) und dem, daß die Methoden von dem betrachteten System selbst gewonnen werden (Lernen). Dementsprechend hat man zwei Möglichkeiten der Bewertung zu unterscheiden: die eingeprägte Bewertung (als Lehrergebnis) und die statistische Bewertung (als Lernergebnis). Zu erstgenannten sind keine weiteren Bemerkungen nötig, jeder Gebildete weiß, welche Fülle solcher Kantenbewertungen, d.h. zweckmäßiger Lösungswege, er seinem Studium verdankt.

Die statistische Bewertung entsteht durch Erfahrung. Das lernende System führt zu Beginn die Wegsuche entweder ganz systemlos oder mit anderen heuristischen Methoden aus. Auf Grund der Häufigkeit des Vorkommens in erfolgreichen (Wegen (erfolgreich bei bestimmten Problemgruppen) erhalten Wegstücke eine Bewertung, die für ihre Verwendung bei späteren Lösungsversuchen für ein anderes Problem derselben Gruppe maßgebend ist. Das Zustandekommen einer solchen Bewertung stellt einen typischen Lernvorgang dar, einen Vorgang also, bei dem das Verhalten eines Systems auf Grund von Erfahrungen geändert wird.

Auf eine Punktbewertung führt die obenerwähnte Methode des logischen Abstandes, die bedeutet, daß dem Denkfeldgraphen eine Metrik zugeordnet wird. Der einfachste, aber hier nicht sinnvolle Weg dazu wäre es, wenn jedem Punkt P_i eine Zahl n_i zugeordnet und die Differenz $n_i - n_j$ als "Abstand" der Punkte P_i und P_j eingeführt wird. Das ist einmal im allgemeinen gar nicht eindeutig möglich, nur wenn der Graph zyklenfrei ist oder die Bewertung die Kirchhoff'sche Bedingung erfüllt, zum anderen kennt man bei den meisten Denksystemen den Denkfeldgraphen gar nicht vollständig. Vor allem aber liefert eine solche "eindimensionale" Bewertung im allgemeinen keine heuristisch brauch-

bare Abstandsdefinition. Bei den interessierenden Denksystemen lassen sich die Punkte des Denkfeldgraphen nach mehreren Gesichtspunkten klassifizieren und ein heuristisch baruchbarer Abstandsbegriff wird in erster Linie dadurch festgelegt, nach welchen Klassifikationsmerkmalen sie sich unterscheiden. Wenn die Punkte P_i z.B. logische Aussagen sind, bilden solche Unterscheidungsmerkmale die Anzahl der logischen Variablen, die Häufigkeit ihres Vorkommens, die Art der vorkommenden Verknüpfung und ihre Reihenfolge.

Wie weit zwei Ausdrücke "auseinanderliegen", hängt in erster Linie davon ab, in welcher dieser Eigenschaften sie sich unterscheiden. Das führt zur Einführung einer mehrdimensionalen Bewertung, bei der jedem Punkt ein n - Tupel von Zahlen zugeordnet wird. Bei vielen Anwendungen werden sich diese Zahlen in der Größenordnung unterscheiden, eine Abweichung in der ersten rangiert vor allen Unterschieden usw. Die Methode der mehrdimensionalen Punktbewertung ist sehr flexibel und kann dementsprechend je nach Problemlage in verschiedenen Formen gelehrt bzw. gelernt werden.

Weitere heuristische Methoden lassen sich auf die homöomorphe Abbildung eines Graphen zurückführen. Man hat zu unterscheiden zwischen der hA des Denkgraphen auf Tatbestände außerhalb dieses Graphen - das liefert die Methode des Modells, wobei der Begriff Modell natürlich im weitesten Sinne zu verstehen ist - und der der hA des Denkgraphen auf sich selbst, d.h. auf einen Teilgraphen.

Zu dieser Operation gehört die Methode des Planes: dem Denkgraphen wird ein vereinfachter Graph, der Plangraph, zugeordnet, oft ist es möglich, im Plangraphen einen Lösungsweg zu finden. Damit ist das ursprüngliche Problem aber nicht gelöst, denn die Umkehrung der hA ist nicht eindeutig. Das Problem der Übertragung eines Lösungsweges in den ursprünglichen Graphen bietet Schwierigkeiten von derselben Größenordnung.

Noch eine weitere Art der hA eines Graphen ist von heuristischer Bedeutung, die Reduktion eines Graphen, wie sie hier in Anlehnung der Bezeichnung reduzierter Graph genannt werden sollte. Da diesre Begriff nicht als allgemein bekannt vorausgesetzt werden kann, müssen erst einige Definitionen gegeben werden.

Eine Kante $\overrightarrow{PQ}$ eines gerichteten Graphen heißt einfach, wenn der Graph die Kante $\overrightarrow{QP}$ nicht enthält, sonst zweifach. Das bedeutet z.B., wenn die Punkte Aussagen sind: P gilt dann und nur dann, wenn Q gilt, oder P ist notwendig und hinreichend für Q. Ein gerichteter Graph heißt Netz, wenn er für je zwei seiner Knotenpunkte P und Q sowohl die Kante $\overrightarrow{PQ}$ als auch die Kante $\overrightarrow{QP}$ enthält. Im logischen Denkfeldgraphen entspricht ein solches Netz einer Menge von äquivalenten Aussagen, von denen der Beweis für eine genügt, damit alle anderen als richtig nachgewiesen sind.

Die Reduktion eines Graphen nun bedeutet grob ausgedrückt die Zusammenziehung eines als Teilgraph auftretenden Netzes auf einen Punkt, oder korrekter ausgedrückt: unter der Reduktion eines Graphen G in Bezug auf ein darin enthaltenes Netz N versteht man folgende hA: P_i seien Punkte in G außerhalb N, Q_k seien Punkte in N. Jeder Punkt P_i wird sich selbst zugeordnet, ebenso jede Kante $P_i P_j$. Jedem Punkt Q_k wird derselbe Punkt B zugeordnet. Einer Kante P_iQ_k wird die Kante P_iB zugeordnet, einer Kante Q_kQ_1 die Nullkante BB.

Die so definierte Reduktion eines Graphen liefert die theoretische Grundlage für die heuristische Methode der Begriffsbildung; der Punkt B entspricht einem neu eingeführten Begriff. Gerade die Untersuchung komplizierterer Denkfelder beginnt vielfach mit dem Absuchen auf solche Reduktionsmäßigkeiten.

Bewertung	Kantenbewertung	eingeprägt oder statistisch Lehren Lernen
	Punktbewertung log. Abstand	
homöomorphe Abbildung	auf Tatbestand Modellmethode	
	auf Graph	auf vereinfachten Graph Planmethode
		auf reduzierten Graph Begriffsbildung

Schema der heuristischen Methoden

Es ist klar, daß in dieser Theorie der heuristischen Denkmethode der "ontologische Ort" des denkenden Systems keinen Platz hat. Man kann erwarten, daß Untersuchungen an denkenden Menschen und denkenden Maschinen sich gegenseitig unterstützen und zu einer neuen Wissenschaft zusammenwachsen.

Literatur:

H.L. Gelernter und N. Rochester: Intelligent behavior in problem solving machines. IBM Journ. of Res. and Develop. 2, 4, 1958.

H.L. Gelernter: Realisation of a geometry theorem proving machine. ICIP Paris 1959. In: Information processing. München Oldenbourg, 196o.

A. Newell, J.C. Shaw und H.A. Simon: Report on a general problem - solving programm, ebenda.

A. Newell, J.C. Shaw und H.A. Simon: Empirical explorations of the Logic Theory Machine, Proceedings of the 1957 Western Joint Computer Conference, 1957.

G. Polya: Mathematics and Plausible Reasoning, Oxford 1954.

Eingegangen: 16.2.1961

Über den Vertrieb der GRUNDLAGENSTUDIEN AUS KYBERNETIK UND GEISTESWISSENSCHAFT können bezogen werden:

GRUNDLANGENSTUDIEN Band I, geb. (mit Beiheft) DM 17,90 *Einzelheft*, brosch., DM 2.-, zuzüglich Porto.

Inhalt von Heft 1: Textästhetik - Über ein Programm zur Synthese stochastisch-logistischer Texte - Grundsätzliche Probleme bei der Anwendung der Shannonschen Formel auf Wahrnehmungstheorie und Lerntheorie - Über grundlegende Sätze der Informationspsychologie.

vergriffen!

Inhalt von Heft 2: Über konstruktionelle und instrumentelle Komplexität - Über eine informationspsychologische Maßbestimmung der semantischen und pragmatischen Information - Analog-Prinzip, Digital-Maschine und Mehrwertigkeit - Klassische und nichtklassische Texte (Zur Textästhetik) - Der Begriff der Intelligenz in psychologischer und informationstheoretischer Sicht - Fragwürdige Bücher.

vergriffen!

Neuwertige Duplikate der Hefte Nr. 1 und 2 (196o) der "Grundlagenstudien" werden zum Tausch gegen spätere Hefte (einschließlich Beiheft Bolzano) - nach Wunsch der Einsender - von unserem Vertrieb angenommen.

Inhalt von Heft 3: Die Textphänomenologie Ponges - Über Metatheorie. Die Erweiterung des Metaphysikbegriffs. - Über das Intelligenzproblem in der Informationspsychologie.

Inhalt von Heft 4: Nachruf zum Tode Prof. Dr. W. Meyer-Epplers. - Ein Vorbericht über die generalisierte Stellenwerttheorie der mehrwertigen Logik. -Über informationstheoretische Probleme in Lerntheorie und Didaktik. - Über Mime und Pantomime. - Movens. Experimentelle Literatur. - Über ein Programm zur Erzeugung stochastisch-logistischer Texte.

Inhalt von Heft 5: Ein informationsästhetischer Ansatz zur Deutung der griechischen Musikgeschichte. -Notiz zur Negation. - Die kybernetische Funktion der Kritik in der modernen Ästhetik. - Zur Theorie des mechanischen Lernens. - Über die Kapazitäten der menschlichen Sinnesorgane. - Zur mathematischen Textanalyse: Der Vergleich von Texten. Inhaltsverzeichnis von Band I (1960)

Bernard Bolzano : Was ist Philosophie? 2. Auflage als Beiheft zu Band 1 der GRUNDLAGENSTUDIEN. (1. Auflage Wien 1849). 32 S., DM3.- zuzüglich Porto.

Helmar Frank: Grundlagenprobleme der Informationsästhetik und erste Anwendung auf die mime pure. (Diss. Stuttgart 1959). 100 S. DM 6.- zuzüglich Porto. (Buchhandel: Hess, Waiblingen)

Wolfgang Patschke: Untersuchungen über den Zusammenhang zwischen Information und Intentionalität. (Diss. Stuttgart 1959). 150 S. DM 9.-

Franz Schwanauer: Die Literaturtheorie Friedrich Nietzsches. (Diss. Stuttgart, 1959). Im Druck.